Eén-transistor versterkers

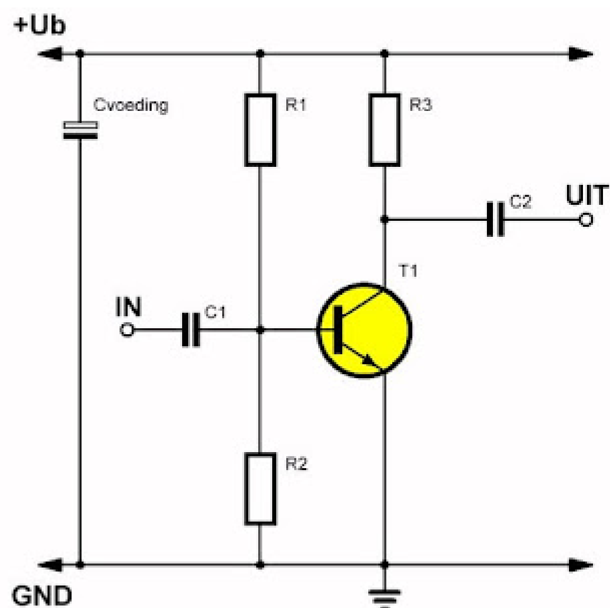
Eén-transistor versterkers zijn de eenvoudigste transistorversterkers die, zoals de naam suggereert, slechts één transistor als versterkend element bezitten. Een dergelijke versterker is de aangewezen schakeling om de uitgangsspanning van een apparaat op te peppen tot een bepaalde waarde, bijvoorbeeld de gestandaardiseerde 0,775 V.

Auteur: Jos Verstraten, Landgraaf, Nederland
Email: josverstraten@live.nl

Publicatiedatum: 24-11-2018

Ideale schakeling voor kleine versterkingen

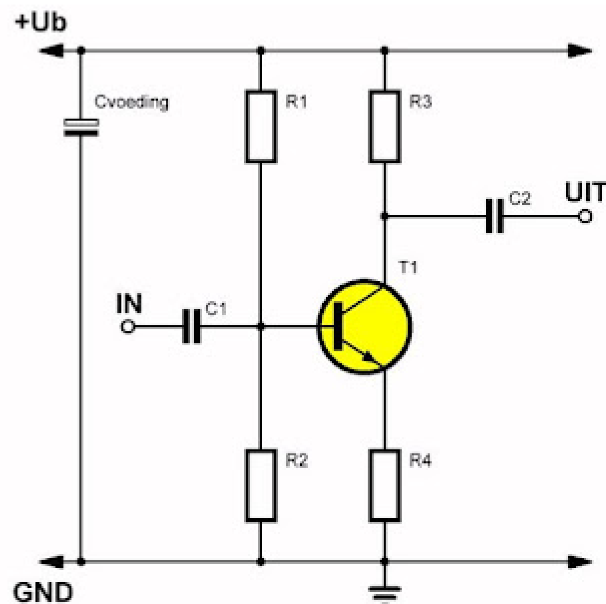
De basisschakeling
Als u een signaal maximaal tien maal moet versterken kan dat zonder bezwaar met een schakeling met slechts één transistor. Het eenvoudigste schema van een transistorversterker met één trap is getekend in onderstaande figuur. De halfgeleider wordt ingesteld door middel van een weerstandsdeler in de basis. De emitter ligt rechtstreeks aan de massa, het versterkte signaal wordt afgenomen van de collector. De basis wordt dus ingesteld op een spanning van ongeveer 0,65 V. Het te versterken signaal moduleert deze instelspanning, waardoor en minder of meer basisstroom in de transistor gaat vloeien.



Het meest eenvoudige schema ven een een-transistor versterker.
(© 2018 Jos Verstraten)

Nadelen
Deze schakeling heeft wél een grote stroomversterking en dus ook hoge signaalversterking maar heeft verder niets anders dan nadelen. Het grootste nadeel is dat de schakeling erg onstabiel is. Als de transistor iets van temperatuur verandert zal de collectorstroom toe- of afnemen, waardoor de instelling van de trap in gevaar komt. Bovendien is er geen tegenkoppelíng aangebracht, waardoor de signaalvervorming heel erg groot zal zijn.

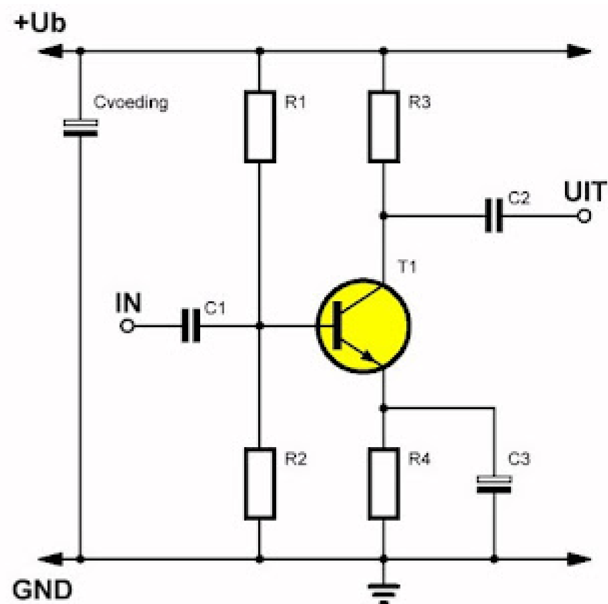
Emitter tegenkoppeling
Een eerste verbetering is het aanbrengen van een kleine weerstand R4 in de emitter, zoals getekend in onderstaande figuur. Deze weerstand zorgt voor een tegenkoppeling, waardoor de versterking dramatisch gereduceerd wordt, maar de stabiliteit toeneemt en de vervorming daalt.
De collectorstroom vloeit nu ook door de weerstand R4 en zal hierover een bepaalde spanning opbouwen. Deze emitterspanning stabiliseert de werking van de schakeling. Stel bijvoorbeeld dat de collectorstroom onder invloed van de temperatuur zou willen stijgen. Het gevolg is dat over de emitterweerstand een grotere spanning valt waardoor de basis/emitter-spanning kleiner wordt. De basis ontvangt minder stroom, waardoor de oorspronkelijke ongewenste stijging van de collectorstroom wordt tegengewerkt.



Het stabiliseren van de trap door het aanbrengen van een emitterweerstand.
(© 2018 Jos Verstraten)

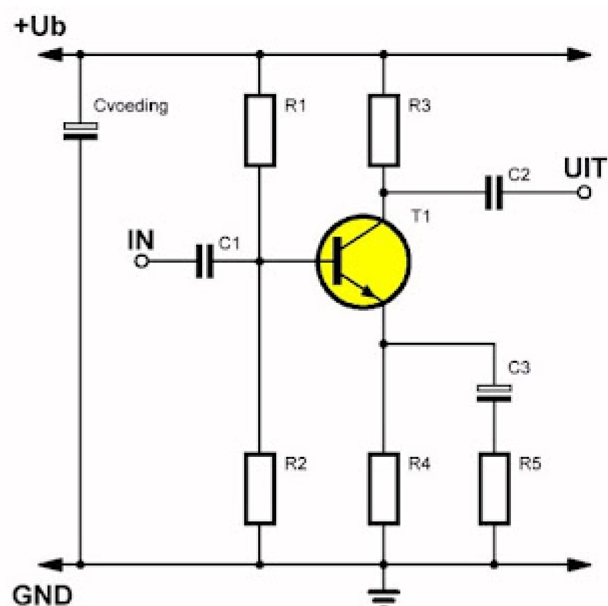
Kleinere versterking
Ook de signaalstroom zal uiteraard over de emitterweerstand R4 een kleine signaalspanning genereren. Deze spanning zorgt ervoor dat de transistor, ook wat betreft signaal, minder wordt open gestuurd en de signaalstroom in de collector veel kleiner wordt dan in het geval zonder emitterweerstand. Hierdoor gaat de signaalversterking dus dalen. Over het algemeen is de waarde van de emitterweerstand R4 ongeveer gelijk aan een tiende van de collectorweerstand. De signaalversterking wordt grosso modo vastgelegd door de verhouding tussen de collector- en emitterweerstanden.

Ontkoppelde emitterweerstand
Door het aanbrengen van die ene kleine emitterweerstand daalt de signaalversterking van de trap van enige honderden tot maximaal tien á twintig. Als deze versterkingsfactor te laag is en u toch met één enkele transistor wilt werken kunt u de schakeling van onderstaande figuur toepassen.
Over de kleine emitterweerstand wordt een grote condensator C3 geschakeld. Zoals bekend heeft een condensator een zeer kleine wisselstroomimpedantie (=weerstand). Het gevolg is dat de emitterweerstand wél aanwezig is voor de gelijkstroom die de instelling van de transistor bepaalt, maar zo goed als kortgesloten wordt voor de wisselstromen die door de trap vloeien. Op deze manier blijft de schakeling temperatuurstabiel op instelgebied, maar kunt u toch een signaalversterking van enige honderden verkrijgen.



Een stabiele gelijkstroominstelling en toch een grote signaalversterking.
(© 2018 Jos Verstraten)

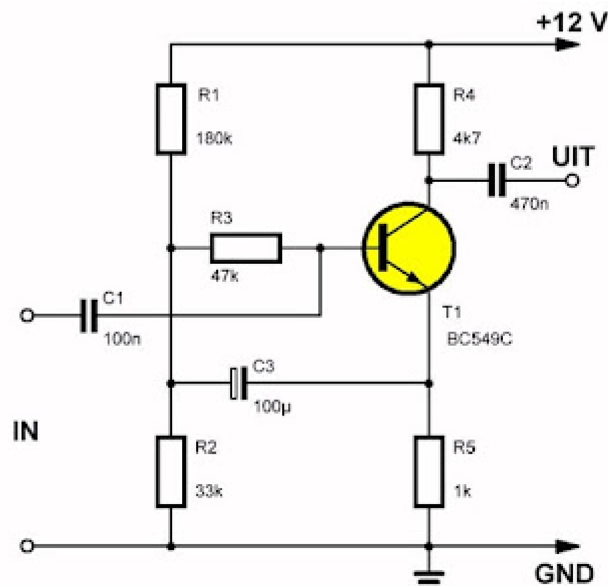
Grote spreidingen
Dit lijkt ideaal, maar dat is niet zo. Tussen transistoren met hetzelfde typenummer bestaan namelijk grote afwijkingen in de versterkingsfactor. Het gevolg is dat de wisselspanningsversterking van de schakeling kan variëren tussen 200 en 800, een ongewenste situatie. Op de een of andere manier moet u dus de wisselspanningsversterking van de trap ook stabiliseren. Dat kan door de schakeling uit te breiden tot het schema dat in onderstaande figuur is getekend. Nu wordt een kleine weerstand R5 in serie met de emittercondensator C3 opgenomen. Het gevolg is dat de emitterimpedantie voor wisselspanning nu wordt bepaald door de waarde van die weerstand en de wisselspanningsversterking wordt gegeven door de verhouding tussen R3 en R5. Conclusie: de gelijkspanningsinstelling van de trap wordt gestabiliseerd door de weerstand R4, de wisselspanningsversterking door de weerstand R5.



Het meest ideale schema van een een-transistor versterker.
(© 2018 Jos Verstraten)

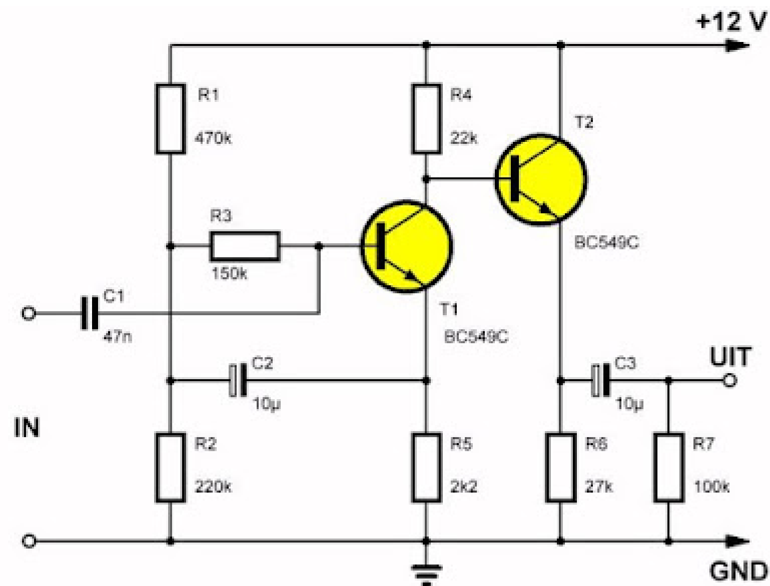
Fasedraaiing
De een-transistor versterker met ingang in de basis en uitgang in de collector is per definitie een schakeling die een fasedraaiing van 180° veroorzaakt. Als het signaal op de basis stijgt, dan zal het versterkte signaal op de collector dalen.

Bootstrapping bij de een-transistor versterker
De een-transistor versterker heeft een tamelijk geringe ingangsimpedantie. Deze wordt bepaald door de weerstanden R1 en R2, die vanuit het ingangssignaal bekeken parallel staan. Tussen de voedingsspanning +Ub en de massa staat immers een zeer grote elco $C_{voeding}$ en dit onderdeel heeft een zeer kleine impedantie voor het signaal. Het signaal 'ziet' dus dat de weerstand R2 via de impedantie van de voedingselco aan de massa ligt, dus parallel staat aan R1.
Nu kunt u dit probleem oplossen door een emittervolger voor de een-transistor versterker te schakelen. U kunt echter ook het bootstrap principe toepassen. Hoe dat gaat is getekend in onderstaande figuur. De grote condensator C3 is de bootstrap condensator, die het signaal van de emitter in fase terugkoppelt naar de basis. Voor de te versterken wisselspanning lijkt het nu net alsof de weerstandsdeler R1/R2 veel hoogohmiger is dan voor de gelijkspanning. De spanning op het knooppunt tussen de weerstanden R1, R2 en R3 volgt nu immers de variaties van het ingangssignaal. Over de weerstand R3 valt nu nauwelijks spanning, zodat de invloed van de lage weerstand van de spanningsdeler R1/R2 wordt gecompenseerd. Het ingangssignaal 'ziet' nu dank zij de terugkoppeling via C3 een veel hogere weerstand.
Het zal duidelijk zijn dat het nu niet mogelijk is de emitter te ontkoppelen door een condensator naar de massa te schakelen. Dan kan er immers geen signaal teruggekoppeld worden van de emitter naar de basis. Vandaar dat de wisselspanningsversterking van de schakeling klein is, met de getekende onderdelenwaarden wordt een versterking van ongeveer 4,2 bereikt. Door het bootstrap effect heeft de schakeling echter een ingangsimpedantie van ongeveer 500 kΩ, hetgeen voor de meeste toepassingen meer dan voldoende is.



Het toepassen van het bootstrap principe bij de een-transistor versterker. (© 2018 Jos Verstraten)

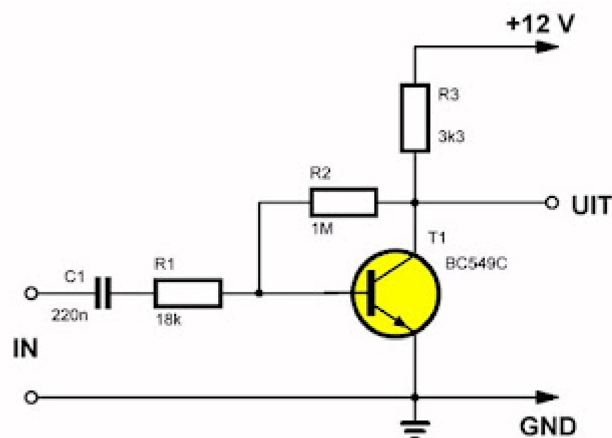
Verlagen van de uitgangsimpedantie
De uitgangsimpedantie van de versterker met enkele transistor is tamelijk hoog. Dit euvel valt alleen op te lossen door de versterker af te sluiten met een emittervolger. Natuurlijk is het dan niet noodzakelijk de emittervolger afzonderlijk in te stellen. U kunt de basis van deze trap rechtstreeks koppelen met de collector van de versterker. Er ontstaat dan het resultaat van onderstaande figuur, het praktisch erg bruikbaar schema van een versterker met een ingangsimpedantie van meer dan 0,5 MΩ, een uitgangsimpedantie van ongeveer 47 Ω en een signaalversterking van ongeveer 10.



Een een-transistor versterker met bootstrapping aan de ingang en emíttervolger aan de uitgang. (© 2018 Jos Verstraten)

Een alternatieve instelling van de transistor

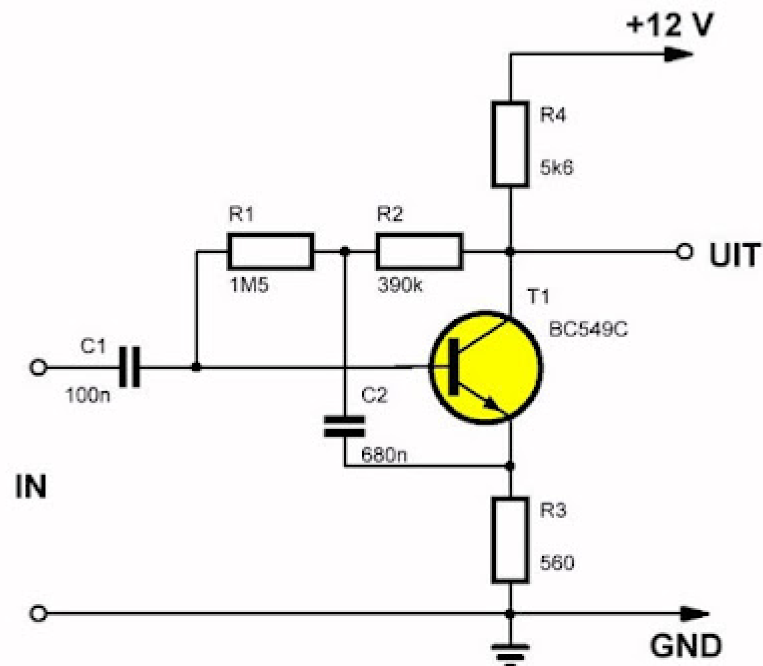
Van de collector naar de basis
De schema's van de twee vorige figuren zijn de standaard schema's van een-transistor versterkers. Toch treft u soms een alternatieve manier aan om de instelling en de versterking van een een-transistor versterker te stabiliseren. In het schema van onderstaande figuur wordt de emitter weer rechtstreeks met de massa verbonden. De instelling van de basis wordt nu niet uit de voeding verzorgd, maar vanuit de collector. Door deze rechtstreekse terugkoppeling via R2 van de uitgang naar de ingang ontstaat een stabiliserend effect. Stel dat de transistor onder invloed van een stijgende temperatuur meer wil gaan geleiden. De collectorstroom stijgt, de spanning op de collector daalt.
Het gevolg is nu dat er via R2 minder stroom naar de basis zal vloeien, zodat de stroomstijging wordt tegengewerkt. Het zal duidelijk zijn dat de terugkoppelweerstand R2 ook zorgt voor een reductie van de signaalversterkíng. De wisselspanningsversterking wordt bepaald door de verhouding tussen R2 en R1, zodat in het getekend voorbeeld u een signaalversterking van ongeveer 50 kunt verwachten.



Een alternatieve instelling en stabilisering van een een-transistor versterker. (© 2018 Jos Verstraten)

En nu weer bootstrappen!
De lage ingangsimpedantie van de schakeling kan weer gecompenseerd worden door het bootstrap principe toe te passen. Omdat bij het bootstrap principe steeds in fase moet worden

teruggekoppeld, moet er een weerstand in de emitter worden opgenomen.
Het praktisch voorbeeld van de in dit artikel besproken technieken is geschetst in onderstaande figuur, een een-transistor versterker met goede stabilisatie, een ingangsimpedantie van ongeveer 500 kΩ en een signaalversterking van ongeveer 10.



Het toepassen van het bootstrap principe bij het schema van vorige figuur.
(© 2018 Jos Verstraten)